

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-043696

(43)Date of publication of application : 08.02.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/343  
H01S 5/183

(21)Application number : 2000-225809

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 26.07.2000

(72)Inventor : OTSUBO KOJI

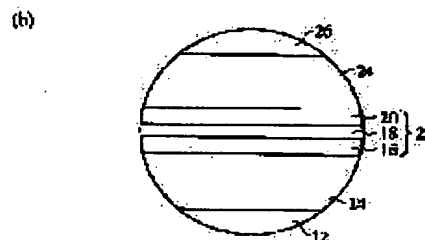
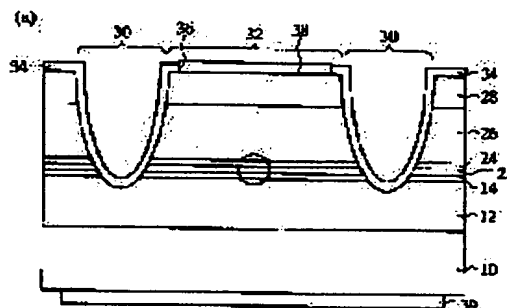
## (54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a semiconductor laser device which is excellent in temperature characteristic and has a highly reliable long wavelength.

**SOLUTION:** This semiconductor laser device is provided with a semiconductor substrate 10 having a larger lattice constant than GaAs, a first clad layer 12 which is formed on the semiconductor substrate 10 and almost lattice-matched with the semiconductor substrate 10, and is made of a first conductivity type semiconductor having an Al composition of  $>0$  and  $<0.51$ , an active layer 22 formed on the first clad layer 12, and a second clad layer 26 which is formed on the active layer 22 and almost lattice-matched with the semiconductor substrate 10, and is made of a second conductivity type semiconductor which is different from the first conductivity type semiconductor and of which Al composition is  $>0$  and  $<0.51$ .

本発明の第1実施形態による半導体レーザー装置を示す断面図



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-43696

(P2002-43696A)

(43)公開日 平成14年2月8日(2002.2.8)

(51)Int.Cl.

識別記号

F I

ターマコード(参考)

H 0 1 S 5/343  
5/183

H 0 1 S 5/343  
5/183

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 17 頁)

(21)出願番号 特願2000-225809(P2000-225809)

(22)出願日 平成12年7月26日(2000.7.26)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成12年度通産省委託事業「軽水炉等改良技術確証試験等(発電設備診断システム開発)」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72)発明者 大坪 孝二

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100087479

弁理士 北野 好人

Fターム(参考) 5F073 AA11 AA45 AA65 AA74 AA75

AB17 CA07 CA15 CA17 CB02

DA05 DA06 DA31 EA28

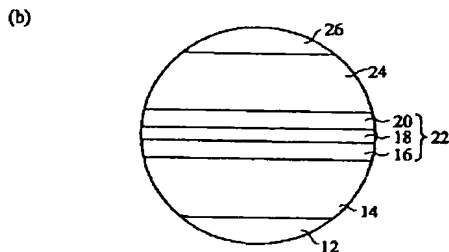
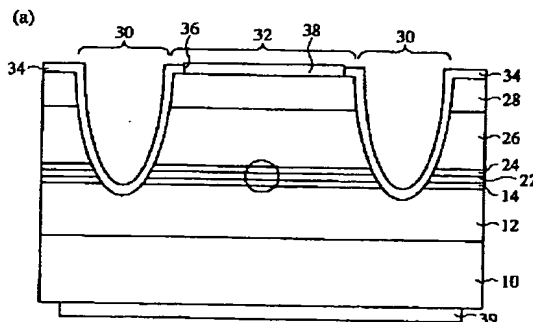
(54)【発明の名称】 半導体レーザ装置

(57)【要約】

【課題】 温度特性が良好で、しかも高い信頼性を有する発光波長の長い半導体レーザ装置を提供する。

【解決手段】 GaAsより大きい格子定数を有する半導体基板10と、半導体基板上に形成され、半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さい第1導電型の半導体より成る第1のクラッド層12と、第1のクラッド層上に形成された活性層22と、活性層上に形成され、半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さく、第1導電型と異なる第2導電型の半導体より成る第2のクラッド層26とを有している。

本発明の第1実施形態による半導体レーザ装置を示す断面図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaAsより大きい格子定数を有する半導体基板と、

前記半導体基板上に形成され、前記半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さい第1導電型の半導体より成る第1のクラッド層と、  
前記第1のクラッド層上に形成された活性層と、  
前記活性層上に形成され、前記半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さく、前記第1導電型と異なる第2導電型の半導体より成る第2のクラッド層とを有することを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】 請求項1記載の半導体レーザ装置において、

前記第1のクラッド層及び／又は前記第2のクラッド層は、AlInP又はInAlGaAsより成ることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項3】 GaAsより大きい格子定数を有する半導体基板と、

前記半導体基板上に形成され、第1の半導体層と前記第1の半導体層より屈折率の高い材料より成る第2の半導体層とを交互に積層して成る第1導電型の第1の分布反射形ミラーと、

前記第1の分布反射形ミラー上に形成された第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層上に形成された活性層と、

前記活性層上に形成された第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層上に形成され、第3の半導体層と前記第3の半導体層より屈折率の高い材料より成る第4の半導体層とを交互に積層して成り、前記第1の導電型と異なる第2導電型の第2の分布反射形ミラーとを有し、

前記第1の半導体層及び／又は前記第3の半導体層は、前記半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さい材料より成ることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項4】 請求項3記載の半導体レーザ装置において、

前記第1の半導体層及び／又は前記第3の半導体層は、AlInP又はInAlGaAsより成ることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項5】 請求項1乃至4のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置において、

前記半導体基板は、InGaAsより成ることを特徴とする半導体レーザ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザ装置に係り、特に、発光波長の長い半導体レーザ装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】幹線系やアクセス系の光通信、光インターコネクション等に適用すべく、発光波長の長い半導体レーザ装置が求められている。

【0003】従来より、InP基板を用いた1 $\mu$ m帯の発光波長の半導体レーザ装置が提案されている。

【0004】しかし、InP基板を用いた半導体レーザ装置は、GaAs基板を用いた0.85~0.98 $\mu$ m帯の半導体レーザ装置に比べて、温度特性が著しく悪い。InP基板には、ポテンシャルの深い歪量子井戸を形成することが困難なため、キャリアのオーバーフローが生じやすく、また、キャリアの高次準位への分布が生じやすいためである。

【0005】そこで、近時では、GaAsとInPとの間の格子定数を有する基板を用いる技術が提案されている。GaAsとInPとの間の格子定数を有する基板には、バンドギャップエネルギーの大きい半導体層を成長し得るため、ポテンシャルの深い高利得の歪量子井戸や、高反射率のDBR(Distributed Bragg Reflection、分布反射形)ミラーを形成でき、ひいては、発振しきい値が低く、温度特性の良好な半導体レーザ装置を提供し得ると考えられる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、提案されている半導体レーザ装置において、バンドギャップエネルギーの大きい半導体層として用いられているのは、Alを多く含む半導体層である。Alを多く含む半導体層は、結晶成長が困難であり、しかも潮解性があるため、非常に不安定である。このため、提案されている半導体レーザ装置では、十分な信頼性を確保することが困難であった。

【0007】本発明の目的は、温度特性が良好で、しかも高い信頼性を有する発光波長の長い半導体レーザ装置を提供することにある。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的は、GaAsより大きい格子定数を有する半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、前記半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さい第1導電型の半導体より成る第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層上に形成された活性層と、前記活性層上に形成され、前記半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さく、前記第1導電型と異なる第2導電型の半導体より成る第2のクラッド層とを有することを特徴とする半導体レーザ装置により達成される。これにより、Al組成が小さくても半導体基板に格子整合し得る半導体をクラッド層に用いるので、信頼性の高い半導体レーザ装置を提供することができる。しかも、かかるクラッド層は、大きなバンドオフセットと大きな屈折率差とを確保することができるので、発振しき

い値が小さく、発光効率の温度依存性の小さい半導体レーザー装置を提供することができる。

【0009】また、上記目的は、GaAsより大きい格子定数を有する半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、第1の半導体層と前記第1の半導体層より屈折率の高い材料より成る第2の半導体層とを交互に積層して成る第1導電型の第1の分布反射形ミラーと、前記第1の分布反射形ミラー上に形成された第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層上に形成された活性層と、前記活性層上に形成された第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層上に形成され、第3の半導体層と前記第3の半導体層より屈折率の高い材料より成る第4の半導体層とを交互に積層して成り、前記第1の導電型と異なる第2導電型の第2の分布反射形ミラーとを有し、前記第1の半導体層及び／又は前記第3の半導体層は、前記半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さい材料より成ることを特徴とする半導体レーザー装置により達成される。これにより、Al組成が小さくても半導体基板に格子整合する半導体を分布反射形ミラーの低屈折率層として用いるので、信頼性の高い半導体レーザー装置を提供することができる。しかも、かかる低屈折率層は、大きなバンドオフセットと大きな屈折率差とを確保することができるので、発振しきい値が小さく、発光効率の温度依存性の小さい半導体レーザー装置を提供することができる。また、かかる低屈折率層は、高屈折率層との屈折率差を大きく確保することができるので、少ないベア数であっても良質な分布反射型ミラーを構成することができる。従って、半導体レーザー装置の製造に要する時間を短縮化することができ、また、制御性や再現性を向上することができる。

【0010】

【発明の実施の形態】【本発明の原理】本発明による半導体レーザー装置を説明するに先立って、本発明の原理を図2を用いて説明する。図2は、III-V族化合物半導体の格子定数とバンドギャップエネルギーとの関係を示すグラフである。横軸は格子定数を示しており、左側の縦軸はバンドギャップエネルギーを示しており、右側の縦軸は発光波長を示している。また、実線は直接遷移型になっていることを示しており、破線は間接遷移型になっていることを示している。

【0011】ここでは、1~1.3 $\mu\text{m}$ 程度の発光波長の半導体レーザー装置を提供すべく、InGaAs基板を用いる場合を例に説明するが、基板材料はInGaAs

に限定されるものではなく、GaAsより格子定数の大きい材料を適宜用いることができる。

【0012】InGaAs基板に格子整合し、しかも、バンドギャップの大きい材料としては、InAlAsやInGaPが考えられる。

【0013】図2から分かるように、InGaAs基板に格子整合するInAlAsとInGaPとでは、InAlAsの方がInGaPよりバンドギャップエネルギーが大きい。従って、バンドギャップエネルギーの観点からは、InAlAsの方が、InGaPより、ストライプ型レーザーのクラッド層や、面発光レーザーのDBRミラーの低屈折率層の材料として適していると考えられる。

【0014】しかし、例えば1.3 $\mu\text{m}$ 帯での発光に適したIn<sub>0.28</sub>Ga<sub>0.72</sub>As基板に格子整合するInAlAsのAl組成は、0.734と極めて大きい。Al組成の大きい半導体層は、結晶成長が困難であるとともに、潮解性があり、非常に不安定である。このため、Al組成の大きいInAlAsをストライプ型レーザーのクラッド層や、面発光レーザーのDBRミラーの低屈折率層の材料に用いた場合には、信頼性の高い半導体レーザー装置を提供することが困難となる。

【0015】そこで、本願発明者は鋭意検討した結果、ストライプ型レーザーのクラッド層や、面発光レーザーのDBRミラーの低屈折率層として、Al組成の小さい材料を用いることに想到した。

【0016】かかる材料としては、例えばAlInPが考えられる。例えば、In<sub>0.28</sub>Ga<sub>0.72</sub>Asより成る半導体基板に格子整合するAlInPのAl組成は、0.251と極めて小さい。InAlAsは、Al組成比を0.734と大きくしなければIn<sub>0.28</sub>Ga<sub>0.72</sub>As基板に格子整合しないが、AlInPでは、0.251と小さいAl組成比であってもIn<sub>0.28</sub>Ga<sub>0.72</sub>As基板に格子整合する。従って、AlInPを用いれば、信頼性の高い半導体レーザー装置を提供し得ると考えられる。

【0017】表1は、InGaAs基板に格子整合するInGaP、InAlAs、及びAlInPのバンドギャップエネルギー及び屈折率を示す表である。なお、表1では、In<sub>0.28</sub>Ga<sub>0.72</sub>As基板に格子整合する材料として、In<sub>0.738</sub>Ga<sub>0.262</sub>P、In<sub>0.258</sub>Al<sub>0.742</sub>As、及びAl<sub>0.251</sub>In<sub>0.749</sub>Pについて示している。

【0018】

【表1】

材料	バンドギャップエネルギー(eV)	屈折率
In <sub>0.75</sub> Ga <sub>0.25</sub> P	1.5601	3.21308
In <sub>0.25</sub> Al <sub>0.75</sub> As	2.06698	3.07865
Al <sub>0.25</sub> In <sub>0.75</sub> P	1.91022	3.1268

【0019】表1から分かるように、Al<sub>0.25</sub>In<sub>0.75</sub>Pの屈折率は3.1268であり、In<sub>0.75</sub>Ga<sub>0.25</sub>Pの屈折率である3.21308より小さい。このため、AlInPを用いれば、InGaPを用いた場合より、活性層との屈折率差を大きく確保することができる。

【0020】また、表1から分かるように、Al<sub>0.25</sub>In<sub>0.75</sub>Pのバンドギャップエネルギーは1.91022と、In<sub>0.75</sub>Ga<sub>0.25</sub>Pのバンドギャップエネルギーである1.5601より大きい。このため、AlInPを用いれば、InGaPを用いた場合より、活性領域とのバンドギャップ差を大きく確保することができ、ひいてはキャリアを効率よく活性領域に閉じ込めることができる。

【0021】一方、面発光レーザのDBRミラーをAlInPとInGaAsとで構成した場合のAlInPとInGaAsとの屈折率差は0.36531である一方、面発光レーザのDBRミラーをInAlAsとInGaAsとで構成した場合のInAlAsとInGaAsとの屈折率差は0.41346であり、特段の差はない。

【0022】表2は、DBRミラーに用いられる材料と99%以上の光反射率が得られるペア数との関係を示す表である。

【0023】

【表2】

材料	99%以上の高反射率が得られるペア数
InGaP/InGaAs	30
InAlAs/InGaAs	20
AlInP/InGaAs	22

【0024】表2から分かるように、InGaPとInGaAsとでDBRミラーを構成した場合には30ペア必要であるのに対し、AlInPとInGaAsとでDBRミラーを構成した場合には22ペアで足りる。即ち、AlInPとInGaAsとでDBRミラーを構成した場合には、InGaPとInGaAsとでDBRミ

ラーを構成した場合に比べて8ペア少なくすることができ、膜厚にして約1.6μm薄くすることができる。従って、AlInPとInGaAsとでDBRミラーを構成すれば、半導体レーザ装置の製造に要する時間を短縮化することができ、制御性や再現性を向上することができる。

【0025】なお、InAlAsとInGaAsとでDBRミラーを構成した場合には、20ペアで足り、膜厚にして約0.4μm薄くなるが、AlInPとInGaAsとでDBRミラーを構成した場合と比べて特段の差はない。

【0026】[第1実施形態] 本発明の第1実施形態による半導体レーザ装置を図1を用いて説明する。図1は、本実施形態による半導体レーザ装置を示す断面図である。なお、図1(b)は、図1(a)の円内を拡大した図である。

【0027】本実施形態では、端面発光型のストライプレーザを例に説明するが、本発明の原理は他のあらゆる半導体レーザ装置に適用可能である。

【0028】図1に示すように、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた厚さ100μmのn-In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Asより成る半導体基板10上には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた厚さ1.5μmのn-Al<sub>0.25</sub>In<sub>0.75</sub>Pより成るクラッド層12が形成されている。

【0029】クラッド層12上には、厚さ100nmのi-In<sub>0.275</sub>Al<sub>0.225</sub>Ga<sub>0.498</sub>Asより成る光閉じ込め層14が形成されている。

【0030】光閉じ込め層14上には、厚さ7nmのi-In<sub>0.47</sub>Ga<sub>0.53</sub>Asより成る歪量子井戸層16が形成されている。

【0031】歪量子井戸層16上には、厚さ10nmのi-In<sub>0.275</sub>Al<sub>0.225</sub>Ga<sub>0.498</sub>Asより成る障壁層18が形成されている。

【0032】障壁層18上には、厚さ7nmのi-In<sub>0.47</sub>Ga<sub>0.53</sub>Asより成る歪量子井戸層20が形成されている。

【0033】これら歪量子井戸層16、障壁層18、及び歪量子井戸層20により、活性層22が構成されている。

【0034】活性層22上には、厚さ100nmのi-

$\text{In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る光閉じ込め層24が形成されている。

【0035】光閉じ込め層24上には、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ1.5  $\mu\text{m}$ のp-A $\text{In}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ より成るクラッド層26が形成されている。

【0036】クラッド層26上には、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ0.5  $\mu\text{m}$ のp-In $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.72}\text{As}$ より成るコンタクト層28が形成されている。

【0037】コンタクト層28の表面からクラッド層12に達するように溝30が形成されており、これにより、幅15  $\mu\text{m}$ のストライプ状のメサ32が形成されている。

【0038】更に全面に、膜厚300 nmのシリコン酸化膜34が形成されている。

【0039】メサ上のシリコン酸化膜34には、コンタクト層に達する幅10  $\mu\text{m}$ の開口部36が形成されている。

【0040】コンタクト層28上には、開口部36を介してコンタクト層28に接続されたp側電極38が形成されている。p側電極38は、膜厚200 nmのTi膜と、膜厚300 nmのPt膜と、膜厚3  $\mu\text{m}$ のAu膜とを順次積層することにより構成されている。

【0041】半導体基板10の下側には、膜厚300 nmのAuGe膜と、膜厚3  $\mu\text{m}$ のAu膜とを順次積層することにより構成されたn側電極39が形成されている。

【0042】こうして本実施形態による半導体レーザ装置が構成されている。

【0043】次に、本実施形態による半導体レーザ装置のバンド構造を図3を用いて説明する。図3は、本実施形態による半導体レーザ装置のバンド構造を示す図である。

【0044】実施例1は、A $\text{In}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ をクラッド層12、26に用いた本実施形態による半導体レーザ装置のバンド構造を示しており、比較例1は、In $\text{In}_{0.75}\text{Ga}_{0.24}\text{P}$ をクラッド層に用いた半導体レーザ装置のバンド構造を示している。

【0045】図3から分かるように、実施例1、即ち本実施形態による半導体レーザ装置では、比較例1に比べて大きなバンドオフセットを確保できている。

【0046】次に、本実施形態による半導体レーザ装置の屈折率分布を図4を用いて説明する。図4は、本実施形態による半導体レーザ装置の屈折率分布を示す図である。

【0047】実施例2は、A $\text{In}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ をクラッド層12、26に用いた本実施形態による半導体レーザ装置の屈折率分布を示しており、比較例2は、In $\text{In}_{0.75}\text{Ga}_{0.24}\text{P}$ をクラッド層に用いた半導体レーザ装

置の屈折率分布を示している。

【0048】図4から分かるように、実施例2、即ち本実施形態による半導体レーザ装置では、比較例2に比べて大きな屈折率差を確保できている。

【0049】このように、本実施形態によれば、Al組成が小さくてもInGaAs基板に格子整合し得るAlInPをクラッド層に用いるので、信頼性の高い半導体レーザ装置を提供することができる。しかも、AlInPより成るクラッド層は、大きなバンドオフセットと大きな屈折率差とを確保することができるので、発振しきい値が小さく、発光効率の温度依存性の小さい半導体レーザ装置を提供することができる。

【0050】次に、本実施形態による半導体レーザ装置の製造方法を図1を用いて説明する。

【0051】まず、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーブされたn-In $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.72}\text{As}$ より成る半導体基板10上の全面に、MOVPE (Metal Organic Vapor Phase Epitaxial, 有機金属エビタキシャル成長) 法により、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーブされた厚さ1.5  $\mu\text{m}$ のn-A $\text{In}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ より成るクラッド層12を形成する。

【0052】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ100 nmのi-In $\text{In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る光閉じ込め層14を形成する。

【0053】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ7 nmのi-In $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ より成る歪量子井戸層16を形成する。

【0054】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ10 nmのi-In $\text{In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る障壁層18を形成する。

【0055】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ7 nmのi-In $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ より成る歪量子井戸層20を形成する。

【0056】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ100 nmのi-In $\text{In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る光閉じ込め層24を形成する。

【0057】次に、全面に、MOVPE法により、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ1.5  $\mu\text{m}$ のp-A $\text{In}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ より成るクラッド層26を形成する。

【0058】次に、全面に、MOVPE法により、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ0.5  $\mu\text{m}$ のp-In $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.72}\text{As}$ より成るコンタクト層28を形成する。

【0059】次に、ブロム系のエッチャントを用いたウェットエッチングにより、コンタクト層の表面からクラッド層12に達する溝30を形成し、これにより、幅15  $\mu\text{m}$ のストライプ状のメサ32を形成する。

【0060】次に、全面に、CVD (Chemical Vapor Deposition, 化学気相堆積) 法により、膜厚300 nm

のシリコン酸化膜34を形成する。

【0061】次に、フォトリソグラフィ技術を用い、メサ上のシリコン酸化膜34をウェットエッチングし、コンタクト層28に達する幅10 $\mu$ mの開口部36を形成する。エッチング液としては、例えばフッ酸を用いることができる。

【0062】次に、膜厚200nmのTi膜、膜厚300nmのPt膜、及び膜厚3 $\mu$ mのAu膜を順次積層することにより、p側電極38を形成する。Ti膜及びPt膜は、例えば真空蒸着法により形成し、Au膜は、例

えばめっき法により形成する。

【0063】次に、CMP法により、半導体基板10の裏側を研磨し、これにより半導体基板10の厚さを例えば100 $\mu$ mとする。

【0064】次に、膜厚300nmのAuGe膜と、膜厚3 $\mu$ mのAu膜とを順次積層することにより、n側電極39を形成する。AuGe膜は、例えば真空蒸着法により形成し、Au膜は、例えばめっき法により形成する。

【0065】次に、劈開により端面を整形し、本実施形態による半導体レーザ装置を完成する。

【0066】(変形例(その1))次に、本実施形態による半導体レーザ装置の変形例(その1)について図5を用いて説明する。図5は、本変形例による半導体レーザ装置を示す断面図である。

【0067】図5に示すように、クラッド層12上には、厚さ100nm、 $i\text{-InGaAsN}$ のバルク結晶より成る発光波長1.3 $\mu$ mの活性層22aが形成されている。

【0068】他の構成要素は、図1に示す第1実施形態による半導体レーザ装置の構成要素と同様であるので説明を省略する。

【0069】本変形例による半導体レーザ装置は、活性層がバルク結晶により構成されていることに主な特徴がある。本変形例による半導体レーザ装置では、活性層がバルク結晶により構成されているので、井戸、細線、ドットの量子構造を活性層に導入する場合と異なり、バルク活性層の1.3 $\mu$ m帯レーザを作製することが可能である。

【0070】次に、本変形例による半導体レーザ装置の製造方法を図5を用いて説明する。

【0071】まず、第1実施形態による半導体レーザ装置の製造方法と同様にして、クラッド層12を形成する。

【0072】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ100nm、 $i\text{-InGaAsN}$ のバルク結晶より成る活性層22aを形成する。

【0073】この後の半導体レーザ装置の製造方法は、第1実施形態による半導体レーザ装置の製造方法と同様であるので説明を省略する。こうして、本変形例による

半導体レーザ装置が製造される。

【0074】(変形例(その2))次に、本実施形態による半導体レーザ装置の変形例(その2)について図6を用いて説明する。図6は、本変形例による半導体レーザ装置を示す断面図である。なお、図6(b)は、図6(a)の円内を拡大した図である。

【0075】図6に示すように、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーパされた厚さ100 $\mu$ mの $n\text{-In}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$ より成る(775)Bの半導体基板10a上には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーパされた厚さ1.5 $\mu$ mの $n\text{-Al}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ より成るクラッド層12aが形成されている。なお、(775)Bの半導体基板とは、(111)Bより(110)方向に向かって $\sim 8.5^\circ$ オフしている基板をいう。

【0076】クラッド層12a上には、厚さ150nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る光閉じ込め層14aが形成されている。

【0077】光閉じ込め層14a上には、 $i\text{-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ より成る量子細線40aが形成されている。本変形例では(775)Bの半導体基板10aを用いているので、自己形成的に量子細線40aを形成することができる。

【0078】量子細線40aは、 $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る埋め込み層40bにより埋め込まれている。量子細線40aと埋め込み層40bとにより、厚さ3nmの量子細線活性層40が構成されている。

【0079】量子細線活性層40上には、厚さ7nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る障壁層18aが形成されている。

【0080】障壁層18a上には、 $i\text{-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ より成る量子細線42aが形成されている。本変形例では(775)Bの半導体基板10aを用いているので、自己形成的に量子細線42aを形成することができる。

【0081】量子細線42aは、 $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る埋め込み層42bにより埋め込まれている。量子細線42aと埋め込み層42bとにより、厚さ3nmの量子細線活性層42が構成されている。

【0082】これら量子細線活性層40、障壁層18a、及び量子細線活性層42により、活性層22bが構成されている。

【0083】活性層22b上には、厚さ150nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る光閉じ込め層24aが形成されている。

【0084】光閉じ込め層24a上には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーパされた厚さ1.5 $\mu$ mの $p\text{-Al}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ より成るクラッド層26aが形成されている。

【0085】クラッド層26a上には、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ $0.5 \mu\text{m}$ のp-In<sub>0.75</sub>Ga<sub>0.25</sub>Asより成るコンタクト層28aが形成されている。

【0086】他の構成要素は、図1に示す第1実施形態による半導体レーザ装置の構成要素と同様であるので説明を省略する。

【0087】本変形例による半導体レーザ装置は、量子細線活性層が用いられていることに主な特徴がある。本変形例による半導体レーザ装置では、量子井戸よりも低次元の量子構造を有する量子細線活性層が用いられているので、より低い閾値を有するレーザが実現可能である。

【0088】次に、本変形例による半導体レーザ装置の製造方法について図6を用いて説明する。

【0089】まず、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーブされたn-In<sub>0.75</sub>Ga<sub>0.25</sub>Asより成る(775)Bの半導体基板10a上の全面に、ガスソースMBE法により、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーブされた厚さ $1.5 \mu\text{m}$ のn-Al<sub>0.25</sub>In<sub>0.75</sub>Pより成るクラッド層12aを形成する。

【0090】次に、全面に、ガスソースMBE法により、厚さ $150 \text{ nm}$ のi-In<sub>0.27</sub>Al<sub>0.22</sub>Ga<sub>0.49</sub>Asより成る光閉じ込め層14aを形成する。

【0091】次に、全面に、ガスソースMBE法により、高さ $3 \text{ nm}$ のi-In<sub>0.47</sub>Ga<sub>0.53</sub>Asより成る量子細線40aを形成する。本変形例では(775)Bの半導体基板10aを用いているので、自己形成的に量子細線40aが形成される。

【0092】次に、全面に、ガスソースMBE法により、i-In<sub>0.27</sub>Al<sub>0.22</sub>Ga<sub>0.49</sub>Asより成る埋め込み層40bを形成する。

【0093】次に、全面に、ガスソースMBE法により、厚さ $7 \text{ nm}$ のi-In<sub>0.27</sub>Al<sub>0.22</sub>Ga<sub>0.49</sub>Asより成る障壁層18aを形成する。

【0094】次に、全面に、ガスソースMBE法により、厚さ $3 \text{ nm}$ のi-In<sub>0.47</sub>Ga<sub>0.53</sub>Asより成る量子細線42aを形成する。本変形例では(775)Bの半導体基板10aを用いているので、自己形成的に量子細線42aが形成される。

【0095】次に、全面に、ガスソースMBE法により、i-In<sub>0.27</sub>Al<sub>0.22</sub>Ga<sub>0.49</sub>Asより成る埋め込み層42bを形成する。

【0096】次に、全面に、ガスソースMBE法により、厚さ $150 \text{ nm}$ のi-In<sub>0.27</sub>Al<sub>0.22</sub>Ga<sub>0.49</sub>Asより成る光閉じ込め層24aを形成する。

【0097】次に、全面に、ガスソースMBE法により、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ $1.5 \mu\text{m}$ のp-Al<sub>0.25</sub>In<sub>0.75</sub>Pより成るクラッド層26aを形成する。

【0098】次に、全面に、ガスソースMBE法により、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ $0.5 \mu\text{m}$ のp-In<sub>0.75</sub>Ga<sub>0.25</sub>Asより成るコンタクト層28aを形成する。

【0099】この後の半導体レーザ装置の製造方法は、第1実施形態による半導体レーザ装置の製造方法と同様であるので説明を省略する。こうして、本変形例による半導体レーザ装置が製造される。

【0100】(変形例(その3))次に、本実施形態による半導体レーザ装置の変形例(その3)について図7を用いて説明する。図7は、本変形例による半導体レーザ装置を示す断面図である。なお、図7(b)は、図7(a)の円内を拡大した図である。

【0101】図7に示すように、光閉じ込め層14上には、i-InAs/GaAsより成る量子ドット44aが形成されている。量子ドット44aは、埋め込み層44bに埋め込まれている。量子ドット44aと埋め込み層44bにより、厚さ $4 \text{ nm}$ の量子ドット活性層44が構成されている。

【0102】量子ドット活性層44上には、厚さ $7 \text{ nm}$ のi-In<sub>0.27</sub>Al<sub>0.22</sub>Ga<sub>0.49</sub>Asより成る障壁層18bが形成されている。

【0103】障壁層18b上には、i-InAs/GaAsより成る量子ドット46aが形成されている。量子ドット46aは、埋め込み層46bに埋め込まれている。量子ドット46aと埋め込み層46bとにより、厚さ $4 \text{ nm}$ の量子ドット活性層46が構成されている。

【0104】これら量子ドット活性層44、障壁層18b、及び量子ドット活性層46により、活性層22cが構成されている。

【0105】他の構成要素は、図1に示す第1実施形態による半導体レーザ装置の構成要素と同様であるので説明を省略する。

【0106】本変形例による半導体レーザ装置は、量子ドット活性層が用いられていることに主な特徴がある。本変形例では、量子井戸及び細線よりも次元の低い量子構造を有する量子ドット活性層が用いられているので、低閾値、優れた温度特性、幅広い変調領域が期待される。

【0107】次に、本変形例による半導体レーザ装置の製造方法について図7を用いて説明する。

【0108】まず、光閉じ込め層14を形成する工程までは、第1実施形態による半導体レーザ装置の製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0109】次に、全面に、MOVPE法により、高さ $4 \text{ nm}$ のi-InAs/GaAsより成る量子ドット44aを形成する。

【0110】次に、全面に、MOVPE法により、i-In<sub>0.27</sub>Al<sub>0.22</sub>Ga<sub>0.49</sub>Asより成る埋め込み層44bを形成する。



【0111】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ7nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る障壁層18bを形成する。

【0112】次に、全面に、MOVPE法により、高さ4nmの $i\text{-InAs}/\text{GaAs}$ より成る量子ドット46aを形成する。

【0113】次に、全面に、MOVPE法により、 $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る埋め込み層46bを形成する。

【0114】この後の半導体レーザ装置の製造方法は、第1実施形態による半導体レーザ装置の製造方法と同様であるので説明を省略する。こうして、本変形例による半導体レーザ装置が製造される。

【0115】[第2実施形態]本発明の第2実施形態による半導体レーザ装置を図8を用いて説明する。図8は、本実施形態による半導体レーザ装置を示す断面図である。なお、図8(b)は、図8(a)の円内を拡大した図である。図1乃至図7に示す第1実施形態による半導体レーザ装置と同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略または簡潔にする。

【0116】本実施形態では、垂直共振器面発光型のレーザを例に説明する。

【0117】図8に示すように、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーブされた厚さ100 $\mu\text{m}$ の $n\text{-In}_{0.2}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ より成る半導体基板10上には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーブされた厚さ105nmの $n\text{-Al}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ より成る低屈折率層48と、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーブされた厚さ94nmの $n\text{-In}_{0.2}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ より成る高屈折率層50とを、交互に26、5ペア積層して成るn形のDBRミラーが52形成されている。

【0118】DBRミラー52上には、厚さ181nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成るクラッド層54が形成されている。

【0119】クラッド層54上には、厚さ7nmの $i\text{-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ より成る歪量子井戸層56が形成されている。

【0120】歪量子井戸層56上には、厚さ10nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る障壁層58が形成されている。

【0121】障壁層58上には、厚さ7nmの $i\text{-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ より成る歪量子井戸層60が形成されている。

【0122】これら歪量子井戸層56、障壁層58、及び歪量子井戸層60により、活性層62が構成されている。

【0123】活性層62上には、厚さ181nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成るクラッド層64が形成されている。

【0124】クラッド層64上には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

の濃度でZnがドーブされた厚さ83nmの $p\text{-Al}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ より成る低屈折率層66と、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ74nmの $p\text{-In}_{0.2}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ より成る高屈折率層70とが、交互に23ペア積層されている。低屈折率層66と高屈折率層70との間には、素子抵抗を低減すべく、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ20nmの $p\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る中間層68が形成されている。

【0125】これら低屈折率層66、中間層68、及び高屈折率層70により、p形のDBRミラー72が形成されている。

【0126】p形のDBRミラー72の表面からn形のDBRミラー52の所定の深さまでメサエッチングが為されており、これにより、直径15 $\mu\text{m}$ の円柱状のメサ74が形成されている。

【0127】更に全面に、膜厚300nmのシリコン酸化膜76が形成されている。

【0128】メサ74上のシリコン酸化膜76には、DBRミラー72に達する直径10 $\mu\text{m}$ の開口部78が形成されている。

【0129】DBRミラー72上には、開口部78を介してDBRミラー72に接続されたp側電極80が形成されている。p側電極80は、膜厚200nmのTi膜と、膜厚300nmのPt膜と、膜厚3 $\mu\text{m}$ のAu膜とを順次積層することにより構成されている。

【0130】p側電極80には、p形のDBRミラーに達する直径5 $\mu\text{m}$ の開口部82が形成されている。この開口部82は、光を出射するための窓として機能する。

【0131】半導体基板10の下側には、膜厚300nmのAuGe膜と、膜厚3 $\mu\text{m}$ のAu膜とを順次積層することにより構成されたn側電極84が形成されている。

【0132】こうして本実施形態による半導体レーザ装置が構成されている。

【0133】本実施形態による半導体レーザ装置は、DBRミラー52、72の低屈折率層48、66にAlInPを用いることに主な特徴がある。AlInPは、Al組成が小さくてもInGaAsより成る半導体基板10に格子整合し得るので、信頼性の高い半導体レーザ装置を提供することができる。しかも、AlInPより成る低屈折率層は、大きなバンドオフセットと大きな屈折率差とを確保することができるので、本実施形態によれば、発振しきい値が小さく、発光効率の温度依存性の小さい半導体レーザ装置を提供することができる。

【0134】また、本実施形態によれば、屈折率の低いAlInPをDBRミラーの低屈折率層として用いているので、高屈折率層と低屈折率層との屈折率差を大きく確保することができる。このため、少ないペア数であっても良質なDBRミラーを構成することができる。従っ

て、本実施形態によれば、半導体レーザ装置の製造に要する時間を短縮化することができ、また、制御性や再現性を向上することができる。

【0135】次に、本実施形態による半導体レーザ装置の製造方法を図8を用いて説明する。

【0136】まず、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた $\text{n-In}_{0.28}\text{Ga}_{0.72}\text{As}$ より成る半導体基板10上に、MOVPE法により、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた厚さ105 nmの $\text{n-Al}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ より成る低屈折率層48と、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた厚さ94 nmの $\text{n-In}_{0.28}\text{Ga}_{0.72}\text{As}$ より成る高屈折率層50とを、交互に26.5ベア積層する。

【0137】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ181 nmの $\text{i-In}_{0.276}\text{Al}_{0.226}\text{Ga}_{0.498}\text{As}$ より成るクラッド層54を形成する。

【0138】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ7 nmの $\text{i-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ より成る歪量子井戸層56を形成する。

【0139】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ10 nmの $\text{i-In}_{0.276}\text{Al}_{0.226}\text{Ga}_{0.498}\text{As}$ より成る障壁層58を形成する。

【0140】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ7 nmの $\text{i-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ より成る歪量子井戸層60を形成する。

【0141】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ181 nmの $\text{i-In}_{0.276}\text{Al}_{0.226}\text{Ga}_{0.498}\text{As}$ より成るクラッド層64を形成する。

【0142】次に、全面に、MOVPE法により、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーピングされた厚さ83 nmの $\text{p-Al}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{P}$ より成る低屈折率層66と、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーピングされた厚さ74 nmの $\text{p-In}_{0.28}\text{Ga}_{0.72}\text{As}$ より成る高屈折率層70とを、交互に23ベア積層する。この際、低屈折率層66と高屈折率層70との間に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーピングされた厚さ20 nmの $\text{p-In}_{0.276}\text{Al}_{0.226}\text{Ga}_{0.498}\text{As}$ の中間層68を形成する。

【0143】次に、ブロム系のエッチャントを用いたウェットエッチングを行い、これにより、直径15  $\mu\text{m}$ の円柱状のメサ74を形成する。

【0144】次に、全面に、CVD法により、膜厚300 nmのシリコン酸化膜76を形成する。

【0145】次に、フォトリソグラフィ技術を用い、メサ74上のシリコン酸化膜76をウェットエッチングし、DBRミラー72に達する直径10  $\mu\text{m}$ の開口部78を形成する。エッチング液としては、例えばブッ酸を用いる。

【0146】次に、膜厚200 nmのTi膜、膜厚300 nmのPt膜、及び膜厚3  $\mu\text{m}$ のAu膜を順次積層す

ることにより、p側電極80を形成する。Ti膜及びPt膜は、例えば真空蒸着法により形成し、Au膜は、例えばめっき法により形成する。

【0147】次に、フォトリソグラフィ技術を用い、p形のDBRミラー72に達する直径5  $\mu\text{m}$ の開口部82を形成する。

【0148】次に、CMP法により、半導体基板10の裏側を研磨し、これにより半導体基板10の厚さを例えば100  $\mu\text{m}$ とする。

【0149】次に、膜厚300 nmのAuGe膜と、膜厚3  $\mu\text{m}$ のAu膜とを順次積層することにより、n側電極84を形成する。AuGe膜は、例えば真空蒸着法により形成し、Au膜は、例えばめっき法により形成する。

【0150】次に、半導体基板10を所定の形状に切断する。こうして本実施形態による半導体レーザ装置が製造される。

【0151】(変形例(その1))次に、本実施形態による半導体レーザ装置の変形例(その1)を図9を用いて説明する。図9は、本変形例による半導体レーザ装置を示す断面図である。なお、図9(b)は、図9(a)の円内を拡大した図である。

【0152】図9に示すように、クラッド層54上には、厚さ50 nm、 $\text{i-InGaAsN}$ のバルク結晶より成る発光波長1.3  $\mu\text{m}$ の活性層62aが形成されている。

【0153】他の構成要素は、図8に示す第2実施形態による半導体レーザ装置の構成要素と同様であるので説明を省略する。

【0154】本変形例による半導体レーザ装置は、活性層がバルク結晶により構成されていることに主な特徴がある。本変形例による半導体レーザ装置では、活性層がバルク結晶により構成されているので、井戸、細線、ドットの量子構造を活性層に導入する場合と異なり、バルク活性層の1.3  $\mu\text{m}$ 帯レーザを作製することが可能である。

【0155】次に、本変形例による半導体レーザ装置の製造方法を図9を用いて説明する。

【0156】まず、クラッド層54を形成する工程までは、第2実施形態による半導体レーザ装置の製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0157】次に、全面に、MOVPE法により、厚さ50 nm、 $\text{i-InGaAsN}$ のバルク結晶より成る活性層62aを形成する。

【0158】この後の半導体レーザ装置の製造方法は、第2実施形態による半導体レーザ装置の製造方法と同様であるので説明を省略する。こうして、本変形例による半導体レーザ装置が製造される。

【0159】(変形例(その2))次に、本実施形態による半導体レーザ装置の変形例(その2)について図1

0を用いて説明する。図10は、本変形例による半導体レーザ装置を示す断面図である。なお、図10(b)は、図10(a)の円内を拡大した図である。

【0160】図10に示すように、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた厚さ100  $\mu\text{m}$ のn-In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Asより成る(775)Bの半導体基板10a上には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた厚さ105 nmのn-Al<sub>0.25</sub>In<sub>0.75</sub>Pより成る低屈折率層48aと、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた厚さ94 nmのn-In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Asより成る高屈折率層50aとを、交互に26.5ペア積層して成るn形のDBRミラー52aが形成されている。

【0161】n形のDBRミラー52a上には、厚さ192 nmのi-In<sub>0.25</sub>Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asより成るクラッド層54aが形成されている。

【0162】クラッド層54a上には、i-In<sub>0.47</sub>Ga<sub>0.53</sub>Asより成る量子細線86aが形成されている。本変形例では(775)Bの半導体基板10aを用いているので、自己形成的に量子細線86aを形成することができる。

【0163】量子細線86aは、i-In<sub>0.25</sub>Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asより成る埋め込み層86bにより埋め込まれている。量子細線86aと埋め込み層86bとにより、厚さ3 nmの量子細線活性層86が構成されている。

【0164】量子細線活性層86上には、厚さ7 nmのi-In<sub>0.25</sub>Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asより成る障壁層58aが形成されている。

【0165】障壁層58a上には、i-In<sub>0.47</sub>Ga<sub>0.53</sub>Asより成る量子細線88aが形成されている。本変形例では(775)Bの半導体基板10aを用いているので、自己形成的に量子細線88aを形成することができる。

【0166】量子細線88aは、i-In<sub>0.25</sub>Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asより成る埋め込み層88bにより埋め込まれている。量子細線88aと埋め込み層88bとにより、厚さ3 nmの量子細線活性層88が構成されている。

【0167】これら量子井戸活性層86、障壁層58a、及び量子井戸活性層88により、活性層62bが構成されている。

【0168】活性層62b上には、厚さ192 nmのi-In<sub>0.25</sub>Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asより成るクラッド層64aが形成されている。

【0169】クラッド層64a上には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーピングされた厚さ83 nmのp-Al<sub>0.25</sub>In<sub>0.75</sub>Pより成る低屈折率層66aと、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーピングされた厚さ74 nmのp-In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Asより成る高屈折率層70aと

が、交互に23ペア積層されている。低屈折率層66aと高屈折率層70aとの間には、素子抵抗を低減すべく、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーピングされた厚さ20 nmのp-In<sub>0.25</sub>Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asより成る中間層68aが形成されている。

【0170】これら低屈折率層66a、中間層68a、及び高屈折率層70aにより、p形のDBRミラー72aが形成されている。

【0171】他の構成要素は、図8に示す第2実施形態による半導体レーザ装置の構成要素と同様であるので説明を省略する。

【0172】本変形例による半導体レーザ装置は、量子細線活性層が用いられていることに主な特徴がある。本変形例による半導体レーザ装置では、量子井戸よりも低次元の量子構造を有する量子細線活性層が用いられているので、より低い閾値を有するレーザが実現可能である。また、細線構造のために利得に異方性があるので、レーザ光の偏波を固定することが可能である。

【0173】次に、本変形例による半導体レーザ装置の製造方法を図10を用いて説明する。

【0174】まず、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされたn-In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Asより成る(775)Bの半導体基板10a上の全面に、ガスソースMBE法により、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた厚さ105 nmのn-Al<sub>0.25</sub>In<sub>0.75</sub>Pより成る低屈折率層48aと、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でSiがドーピングされた厚さ94 nmのn-In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Asより成る高屈折率層50aとを、交互に26.5ペア積層することにより、n形のDBRミラー52aを形成する。

【0175】次に、全面に、ガスソースMBE法により、厚さ192 nmのi-In<sub>0.25</sub>Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asより成るクラッド層54aを形成する。

【0176】次に、全面に、ガスソースMBE法により、厚さ3 nmのi-In<sub>0.47</sub>Ga<sub>0.53</sub>Asより成る量子細線86aを形成する。本変形例では(775)Bの半導体基板10aを用いているので、自己形成的に量子細線86aが形成される。

【0177】次に、全面に、ガスソースMBE法により、i-In<sub>0.25</sub>Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asより成る埋め込み層86bを形成する。

【0178】次に、全面に、ガスソースMBE法により、厚さ7 nmのi-In<sub>0.25</sub>Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asより成る障壁層58aを形成する。

【0179】次に、全面に、ガスソースMBE法により、厚さ3 nmのi-In<sub>0.47</sub>Ga<sub>0.53</sub>Asより成る量子細線88aを形成する。本変形例では(775)Bの半導体基板10aを用いているので、自己形成的に量子細線88aが形成される。

【0180】次に、全面に、ガスソースMBE法によ

り、 $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る埋め込み層88bを形成する。

【0181】次に、全面に、ガスソースMBE法により、厚さ192nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成るクラッド層64aを形成する。

【0182】次に、全面に、ガスソースMBE法により、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ83nmの $p\text{-Al}_{0.23}\text{In}_{0.77}\text{P}$ より成る低屈折率層66aと、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ74nmの $p\text{-In}_{0.27}\text{Ga}_{0.72}\text{As}$ より成る高屈折率層70aとを、交互に23ペア積層することにより、p形のDBRミラー72aを形成する。この際、低屈折率層66aと高屈折率層70aとの間に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でZnがドーブされた厚さ20nmの $p\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る中間層68aを形成する。

【0183】この後の半導体レーザ装置の製造方法は、第2実施形態による半導体レーザ装置の製造方法と同様であるので説明を省略する。こうして、本変形例による半導体レーザ装置が製造される。

【0184】(変形例(その3))次に、本実施形態による半導体レーザ装置の変形例(その3)について図11を用いて説明する。図11は、本変形例による半導体レーザ装置を示す断面図である。なお、図11(b)は、図11(a)の円内を拡大した図である。

【0185】図11に示すように、クラッド層54上には、 $i\text{-InAs/GaAs}$ より成る量子ドット92aが形成されている。量子ドット92aは、埋め込み層92bに埋め込まれている。量子ドット92aと埋め込み層92bにより、厚さ4nmの量子ドット活性層92が構成されている。

【0186】量子ドット活性層92上には、厚さ7nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る障壁層58bが形成されている。

【0187】障壁層58b上には、 $i\text{-InAs/GaAs}$ より成る量子ドット94aが形成されている。量子ドット94aは、埋め込み層94bに埋め込まれている。量子ドット94aと埋め込み層94bにより、厚さ4nmの量子ドット活性層94が構成されている。

【0188】これら量子ドット活性層92、障壁層58b、及び量子ドット活性層94により、活性層62cが構成されている。

【0189】他の構成要素は、図8に示す第2実施形態による半導体レーザ装置の構成要素と同様であるので説明を省略する。

【0190】本変形例による半導体レーザ装置は、量子ドット活性層が用いられていることに主な特徴がある。本変形例では、量子井戸及び細線よりも次元の低い量子構造を有する量子ドット活性層が用いられているので、低閾値、優れた温度特性、幅広い変調領域が期待され

る。

【0191】次に、本変形例による半導体レーザ装置の製造方法について説明する。

【0192】まず、クラッド層54を形成する工程までは、第2実施形態による半導体レーザ装置と同様であるので説明を省略する。

【0193】次に、全面に、MOVPE法により、高さ4nmの $i\text{-InAs/GaAs}$ より成る量子ドット92aを形成する。

【0194】次に、全面に、 $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る埋め込み層92bを形成する。

【0195】次に、全面に、厚さ7nmの $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る障壁層58bを形成する。

【0196】次に、全面に、MOVPE法により、高さ4nmの $i\text{-InAs/GaAs}$ より成る量子ドット94aを形成する。

【0197】次に、全面に、 $i\text{-In}_{0.27}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ より成る埋め込み層94bを形成する。

【0198】この後の半導体レーザ装置の製造方法は、第2実施形態による半導体レーザ装置の製造方法と同様であるので説明を省略する。こうして、本変形例による半導体レーザ装置が製造される。

【0199】[変形実施形態]本発明は上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

【0200】例えば、第1実施形態では、Al組成が0.251の $\text{AlInP}$ をクラッド層に用いる場合について説明したが、クラッド層として用いる $\text{AlInP}$ のAl組成はこの値に限定されるものではなく、目的とするレーザの発振波長に応じて適宜変更することができる。なお、 $\text{GaAs}$ より大きい格子定数を有する半導体基板を用いることを考慮すると、 $\text{AlInP}$ のAl組成は、0より大きく0.51より小さい範囲となる。Al組成を0よりも大きくするのは、Alを導入することによりバンドギャップエネルギーを大きくするためであり、Al組成の範囲の上限値を0.51とするのは、上限値が、 $\text{GaAs}$ 半導体基板と $\text{AlInP}$ とが格子整合するときAl組成として規定されるためであり、そのときのAl組成が0.51だからである。また、クラッド層の材料は、 $\text{AlInP}$ に限定されるものでなく、例えば、 $\text{InAlGaAs}$ のようなAl組成を小さくすることができる他の材料を用いてもよい。

【0201】また、第2実施形態では、Al組成が0.251の $\text{AlInP}$ をDBRミラーの低屈折率層に用いる場合について説明したが、DBRミラーの低屈折率層として用いる $\text{AlInP}$ のAl組成はこの値に限定されるものではなく、目的とするレーザの発振波長に応じて適宜変更することができる。第1実施形態と同様に、 $\text{GaAs}$ より大きい格子定数を有する半導体基板を用いることを考慮すると、 $\text{AlInP}$ のAl組成は、0より大

きく0.51より小さい範囲となる。また、DBRミラーの低屈折率層の材料は、AlInPに限定されるものでなく、例えば、InAlGaAsのようなAl組成を小さくすることができる他の材料を用いてもよい。

【0202】また、第1実施形態では、半導体基板としてInGaAsを用いる場合を例に説明したが、半導体基板はInGaAsに限定されるものではなく、GaAsより大きい格子定数を有する材料を適宜用いることができる。例えば、半導体基板としてGaSbを用い、この半導体基板に格子整合するクラッド層として、AlGaAsSbを用いてもよい。また、半導体基板としてInGaSbを用い、この半導体基板に光子整合するクラッド層としてInAlSbを用いてもよい。

【0203】また、第2実施形態では、半導体基板としてInGaAsを用いる場合を例に説明したが、半導体基板はInGaAsに限定されるものではなく、GaAsより大きい格子定数を有する材料を適宜用いることができる。例えば、半導体基板としてGaSbを用い、DBRミラーの低屈折率層としてAlGaAsSbを用いてもよい。また、半導体基板としてInGaSbを用い、DBRミラーの低屈折率層としてInAlSbを用いてもよい。

【0204】また、第1実施形態の変形例（その3）及び第2実施形態の変形例（その3）では、活性層に量子ドットを用いたが、量子ドットのみならず、活性層に量子箱を用いてもよい。

【0205】【付記】

（付記1） GaAsより大きい格子定数を有する半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、前記半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さい第1導電型の半導体より成る第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層上に形成された活性層と、前記活性層上に形成され、前記半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さく、前記第1導電型と異なる第2導電型の半導体より成る第2のクラッド層とを有することを特徴とする半導体レーザ装置。

【0206】（付記2） 付記1記載の半導体レーザ装置において、前記第1のクラッド層及び／又は前記第2のクラッド層は、AlInP又はInAlGaAsより成ることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0207】（付記3） GaAsより大きい格子定数を有する半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、第1の半導体層と前記第1の半導体層より屈折率の高い材料より成る第2の半導体層とを交互に積層して成る第1導電型の第1の分布反射形ミラーと、前記第1の分布反射形ミラー上に形成された第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層上に形成された活性層と、前記活性層上に形成された第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層上に形成され、第3の半導体層と前記第3の半導体

層より屈折率の高い材料より成る第4の半導体層とを交互に積層して成り、前記第1の導電型と異なる第2導電型の第2の分布反射形ミラーとを有し、前記第1の半導体層及び／又は前記第3の半導体層は、前記半導体基板にほぼ格子整合し、Al組成が0より大きく0.51より小さい材料より成ることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0208】（付記4） 付記3記載の半導体レーザ装置において、前記第1の半導体層及び／又は前記第3の半導体層は、AlInP又はInAlGaAsより成ることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0209】（付記5） 付記1乃至4のいずれかに記載の半導体レーザ装置において、前記半導体基板は、InGaAsより成ることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0210】（付記6） 付記1乃至5のいずれかに記載の半導体レーザ装置において、前記活性層は、量子井戸を有することを特徴とする半導体レーザ装置。

【0211】（付記7） 付記1乃至5のいずれかに記載の半導体レーザ装置において、前記活性層は、バルク結晶より成ることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0212】（付記8） 付記1乃至5のいずれかに記載の半導体レーザ装置において、前記活性層は、量子細線を有することを特徴とする半導体レーザ装置。

【0213】（付記9） 付記1乃至5のいずれかに記載の半導体レーザ装置において、前記活性層は、量子ドット又は量子箱を有することを特徴とする半導体レーザ装置。

【0214】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、Al組成が小さくても半導体基板に格子整合し得る半導体をクラッド層に用いるので、信頼性の高い半導体レーザ装置を提供することができる。しかも、かかるクラッド層は、大きなバンドオフセットと大きな屈折率差とを確保することができるので、発振しきい値が小さく、発光効率の温度依存性の小さい半導体レーザ装置を提供することができる。

【0215】また、本発明によれば、Al組成が小さくても半導体基板に格子整合する半導体を分布反射形ミラーの低屈折率層として用いるので、信頼性の高い半導体レーザ装置を提供することができる。しかも、かかる低屈折率層は、大きなバンドオフセットと大きな屈折率差とを確保することができるので、発振しきい値が小さく、発光効率の温度依存性の小さい半導体レーザ装置を提供することができる。また、かかる低屈折率層は、高屈折率層との屈折率差を大きく確保することができるので、少ないベア数であっても良質な分布反射型ミラーを構成することができる。従って、本発明によれば、半導体レーザ装置の製造に要する時間を短縮化することができる。また、制御性や再現性を向上することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態による半導体レーザ装置を示す断面図である。

【図2】III-V族化合物半導体の格子定数とバンドギャップエネルギーとの関係を示すグラフである。

【図3】本発明の第1実施形態による半導体レーザ装置のバンド構造を示す図である。

【図4】本発明の第1実施形態による半導体レーザ装置の屈折率分布を示す図である。

【図5】本発明の第1実施形態の変形例(その1)による半導体レーザ装置を示す断面図である。

【図6】本発明の第1実施形態の変形例(その2)による半導体レーザ装置を示す断面図である。

【図7】本発明の第1実施形態の変形例(その3)による半導体レーザ装置を示す断面図である。

【図8】本発明の第2実施形態による半導体レーザ装置を示す断面図である。

【図9】本発明の第2実施形態の変形例(その1)による半導体レーザ装置を示す断面図である。

【図10】本発明の第2実施形態の変形例(その2)による半導体レーザ装置を示す断面図である。

【図11】本発明の第2実施形態の変形例(その3)による半導体レーザ装置を示す断面図である。

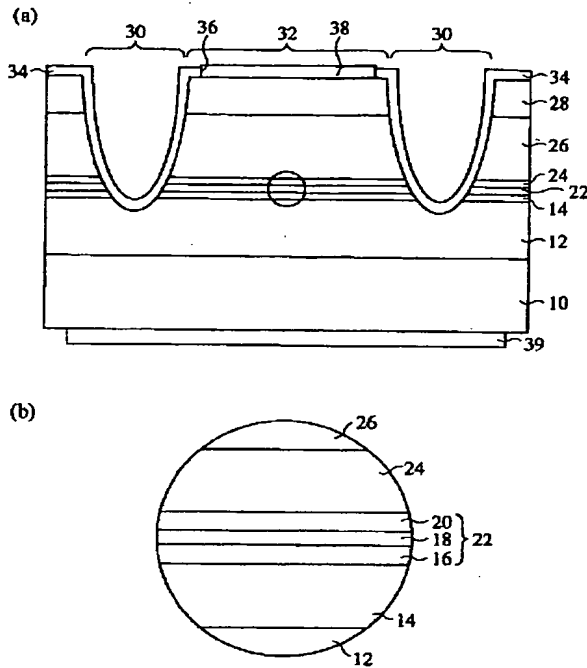
## 【符号の説明】

10…半導体基板  
10a…半導体基板  
12…クラッド層  
12a…クラッド層  
14…光閉じ込め層  
14a…光閉じ込め層  
16…歪量子井戸層  
18…障壁層  
18a…障壁層  
18b…障壁層  
20…歪量子井戸層  
22…活性層  
22a…活性層  
22b…活性層  
22c…活性層  
24…光閉じ込め層  
24a…光閉じ込め層  
26…クラッド層  
26a…クラッド層  
28…コンタクト層  
28a…コンタクト層  
30…溝  
32…メサ  
34…シリコン酸化膜  
36…開口部

38…p側電極  
39…n側電極  
40…量子細線活性層  
40a…量子細線  
40b…埋め込み層  
42…量子細線活性層  
42a…量子細線  
42b…埋め込み層  
44…量子ドット活性層  
44a…量子ドット  
44b…埋め込み層  
46…量子ドット活性層  
46a…量子ドット  
46b…埋め込み層  
48…低屈折率層  
50…高屈折率層  
52…DBRミラー  
54…クラッド層  
56…歪量子井戸層  
58…障壁層  
58a…障壁層  
60…歪量子井戸層  
62…活性層  
62a…活性層  
62b…活性層  
62c…活性層  
64…クラッド層  
66…低屈折率層  
68…中間層  
70…高屈折率層  
72…DBRミラー  
74…メサ  
76…シリコン酸化膜  
78…開口部  
80…p側電極  
82…開口部  
84…n側電極  
86…量子細線活性層  
86a…量子細線  
86b…埋め込み層  
88…量子細線活性層  
88a…量子細線  
88b…埋め込み層  
92…量子ドット活性層  
92a…量子ドット  
92b…埋め込み層  
94…量子ドット活性層  
94a…量子ドット  
94b…埋め込み層

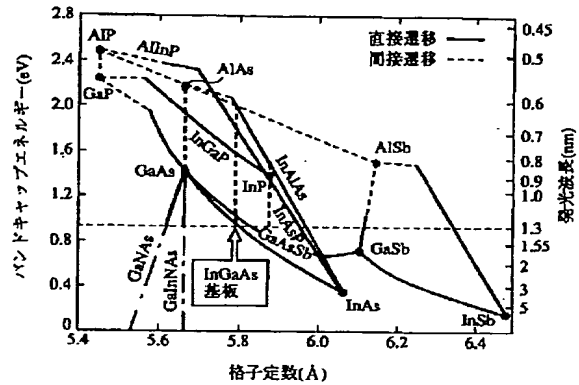
【図1】

本発明の第1実施形態による半導体レーザ装置を示す断面図



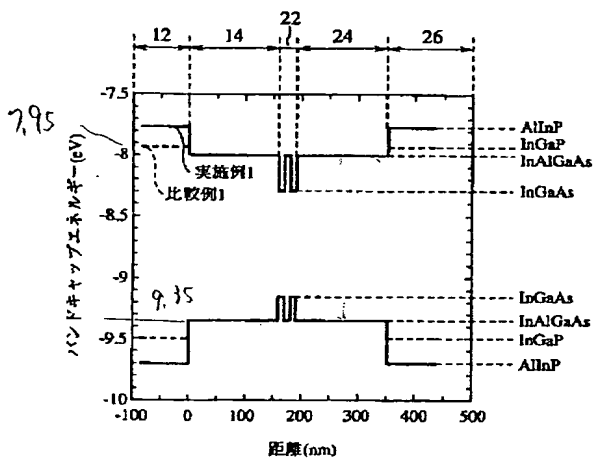
【図2】

III-V族化合物半導体の格子定数とバンドギャップエネルギーとの関係を示すグラフ



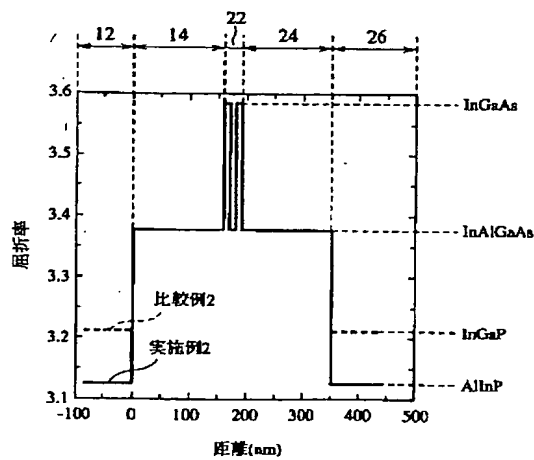
【図3】

本発明の第1実施形態による半導体レーザ装置のバンド構造を示す図



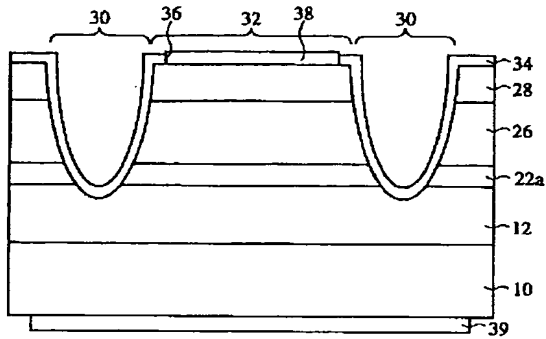
【図4】

本発明の第1実施形態による半導体レーザ装置の屈折率分布を示す図



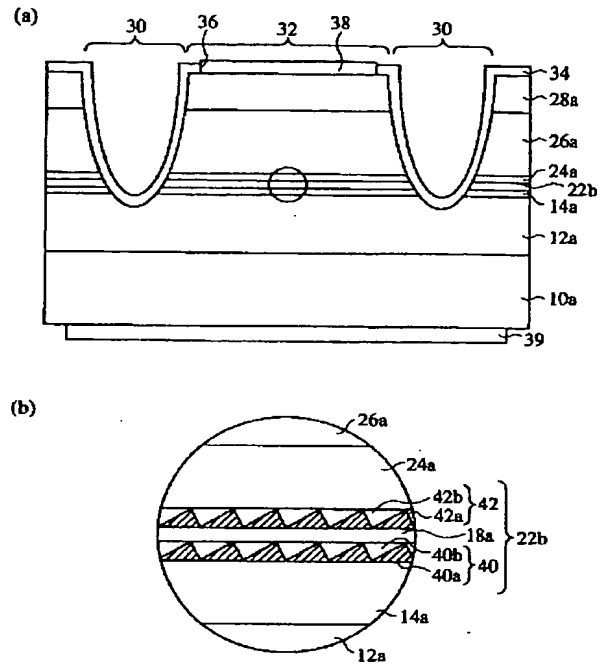
【図5】

本発明の第1実施形態の変形例(その1)による  
半導体レーザ装置を示す断面図



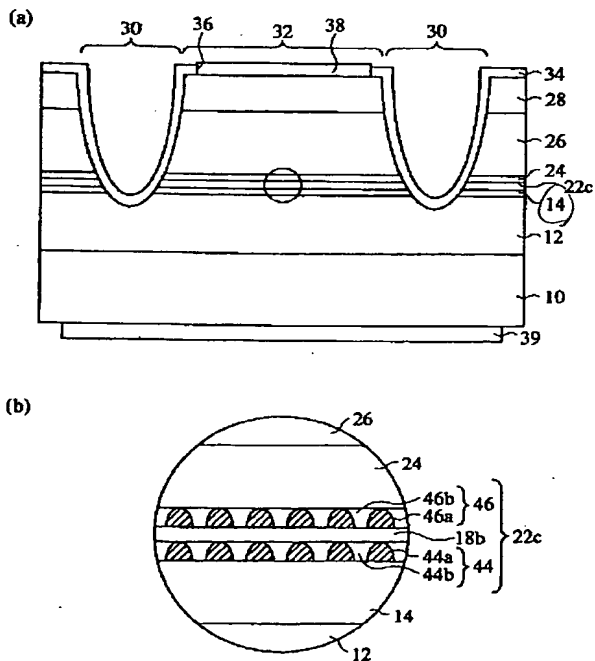
【図6】

本発明の第1実施形態の変形例(その2)による  
半導体レーザ装置を示す断面図



【図7】

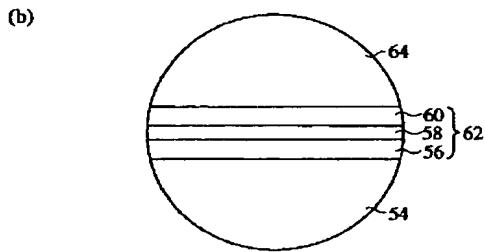
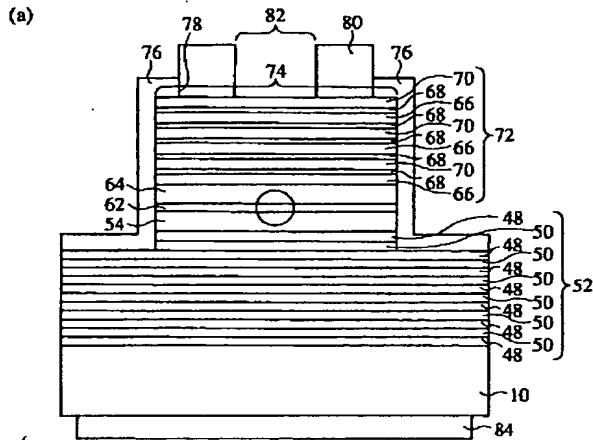
本発明の第1実施形態の変形例(その3)による  
半導体レーザ装置を示す断面図





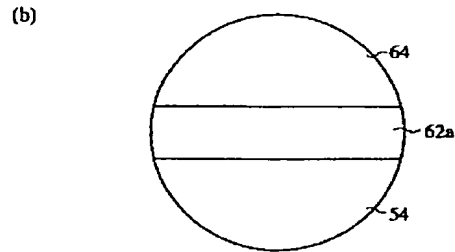
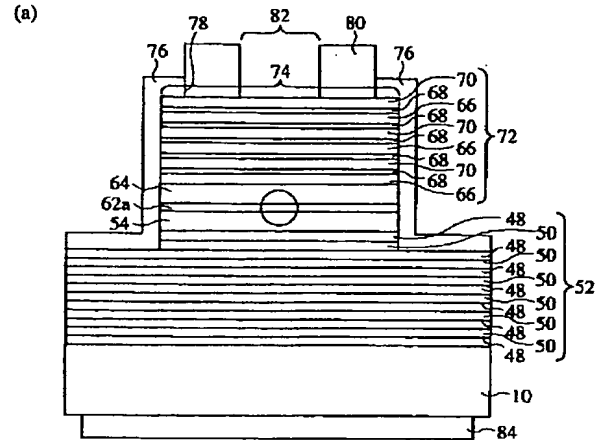
【図8】

本発明の第2実施形態による半導体レーザ装置を示す断面図



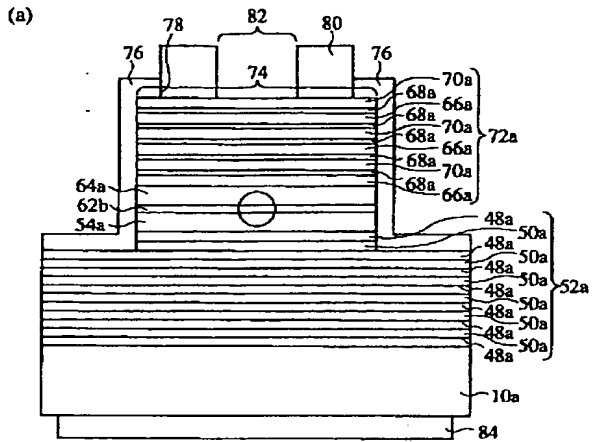
【図9】

本発明の第2実施形態の変形例(その1)による半導体レーザ装置を示す断面図



【図10】

本発明の第2実施形態の変形例(その2)による  
半導体レーザ装置を示す断面図



【図11】

本発明の第2実施形態の変形例(その3)による  
半導体レーザ装置を示す断面図

